Gedruckt auf Kosten des Jerome und Margaret Stonborough-Fonds

Das akryogene Seeklima und seine Bedeutung für die geologischen Probleme der Arktis

Von

Fritz Kerner-Marilaun

k. M. Akad. Wiss.

(Vorgelegt in der Sitzung am 18. Mai 1922)

Das Aufruhen der dünnen, hocherwärmten Oberflächenschicht des Ozeans auf kälterer Unterlage ist der lichten Übertünchung eines dunklen Wandanstriches zu vergleichen. Wie da ein Darüberfahren mit dem Finger genügt, um den Untergrund durchschimmern zu lassen, zieht im Weltmeere jede Längs- und Querzerrung, jede Divergenz von Triften und jede durch Strombeschleunigung erzeugte Druckentlastung schon Auftriebserscheinungen nach sich. Es bedarf nicht besonderer Küstengestaltungen und starker ablandiger Winde, damit Tiefenwasser reichlich emporquillt, schon im offenen Meere treten die bekannten Kaltwasserflecke auf.

Als Erkalter des Weltmeeres wirken zunächst die Eisberge antarktischer Herkunft; sie kühlen die Oberfläche der Südozeane bis in mittlere Breiten noch merkbar ab und gelten als die Haupterzeuger der tiefen Bodentemperaturen in den Meeresräumen der Tropen. Aber auch von einer mit Meereis bedeckten Antarktis würden stärkere erkaltende Fernwirkungen ausstrahlen als von einem sich bis nahe zum Gefrierpunkt abkühlenden, aber noch offen bleibenden Südpolarmeere, obschon da auch von der Oberfläche des Zirkumpolargebietes, das bei Eisbedeckung seinen Untergrund wenig abkühlen könnte, kaltes Wasser in die Tiefe sänke. Es drängt sich so, wenn man zu paläoklimatologischen Zwecken das Problem der ozeanischen Wärmeverteilung auf breiterer Basis, als dies bei der gewohnten Ableitung des reinen Seeklimas der Fall ist, zu betrachten sucht, die Frage auf, inwieweit, wenn die Tropenmeere nicht selbst schon durch eisbedeckte Polarhauben thermisch beeinflußte wären, bei dem den Strahlungsverhältnissen entsprechenden zonalen Wärmegefälle die Poltemperatur auf einer Wasserhemisphäre sich über den ihr im Seeklima gebräuchlichen Sinnes zugemessenen Wert erhöbe.

Ein solches nichteisbürtiges »akryogenes« Seeklima wäre aber noch als ein von horizontalen und vertikalen Ausgleichsströmungen beherrschtes anzusehen und nicht als jene Abstraktion eines völlig konvektionsfreien Seeklimas, wie es Zenker theoretisch bestimmt hat. Für die Berechnung des im vorigen begrifflich festgelegten Klimas sind aber naturgemäß wie bei jeder Ableitung einer zonalen Temperaturverteilung mittlere, von abkühlenden und erwärmenden Einflüssen möglichst freie Wassertemperaturen zu verwenden.

Berechnung des akryogenen Seeklimas.

Am ehesten möchte man hoffen, in den windstillen Zentren der subtropischen Stromkreise konvektionsfreie Meerestemperaturen zu finden. Der Unterschied zwischen Nord und Süd sollte hier auf einen der Strahlungsdifferenz (in gleicher Breite) entsprechenden Betrag beschränkt sein. Bestimmt man aber aus den Isothermenkarten der Deutschen Seewarte-Atlanten die mittleren Jahrestemperaturen für jene Stillengebiete, so ergibt sich folgendes Bild:

	N. A.	N. P.	S. A.	S. P.
Februar	20·4	18·9	24·2	21·9
Mai	21·9	22·4	20·6	19·7
August	26·7	26·2	17·3	17·7
November	23·4	23·2	18·7	19·3
Jahr	23·1	22·7	20·2	19·7

Nord Atlantik ... Mittel aus 45, 50 und 55 W. L. v. Greenw.
Nord Pazifik .... » » 160, 165 » 170 E. L. v. Greenw.
Süd Atlantik .... » » 15, 20 » 25 W. L. v. Greenw.
Süd Pazifik ..... » » 125, 130 » 135 W. L. v. Greenw.

Man könnte geneigt sein, diesen Sachverhalt in gewohnter Weise aus dem Übertritt warmen Wassers aus den Süd- in die Nordtropen herzuleiten. Schon dann läge es nahe, die Temperatur in 30° S. als unternormal zu betrachten und als konvektionsfreien Normalwert den arithmetischen Durchschnitt aus Nord und Süd anzusehen. Die Bedingungen für eine große positive thermische Anomalie sind aber erst polwärts von 40° Nordbreite gegeben, da die Warmwasserströme um die westliche Hemiperipherie der subtropischen Pleiobare herumziehen. Es wäre seltsam, daß der durch das vorerwähnte Strömungsphänomen bedingte Temperaturüberschuß schon dort, wo er am geringsten sein muß, 3° betragen sollte und daß er im Pazifischen Ozean fast so groß wäre wie im Atlantischen,

obwohl doch die Warmwasserzufuhr im Verhältnis zur zu heizenden Fläche im Nordteile des letzteren viel größer ist. Diese Umstände sprechen dafür, daß die konvektionsfreie Normalwärme in 30° Gleicherabstand eher im nördlichen als im südlichen Stillen Ozean zu suchen sei. Der nordpazifische Ozean ist das einzige Weltmeer, das keine Abkühlung durch an seinen Küsten gebildete Eisberge erfährt. Daß im nordatlantischen Ozean eine solche vorhanden, bedingt es, daß dort trotz stärkerer Wärmezufuhr die Temperatur im Stillenzentrum nur wenig höher ist als im pazifischen Weltmeere. Daß die Temperaturen in den Stillen der Südozeane einander ähnlich sind, ist noch kein Beweis ihrer Normalität. Sie können unter analogen Bedingungen auch in ähnlichem Maße herabgedrückte sein.

Es empfahl sich, diese Erwägungen rechnerisch zu begründen. Positive Konvektionswirkungen in den Zentren der subtropischen Stillen mögen an erster Stelle vom Verhältnis der Passattriftfläche zur Zonenfläche zwischen 20° und 40° abhängig sein. Je größer die Wassermasse, die sich am Westrand eines subtropischen Hochs zum subpolaren Wirbel hinaufdrängt, desto wahrscheinlicher dünkt es, daß auch das Zentrum der Stille von der Bewegung miterfaßt wird, Stromfäden von Westen her in dasselbe abkurven, insoweit nicht eine Querschnittsverbreiterung durch eine Strombeschleunigung wettgemacht wird.

Die Abkühlung des Oberflächenwassers in den Stillen dürfte — soweit sie durch das Bodenwasser subantarktischer Herkunft bedingt wird — dem mit wachsendem Abstande von der Ursprungsstätte sich vergrößernden abyssischen Verbreitungsgebiete dieses Wassers verkehrt proportional sein — insoweit sie aber von den oberflächlichen Polarströmen herrührt, die sich teils mit den Westwindtriften mischen, teils unter sie hinabtauchen — vom Arealverhältnis der in höhere Breiten reichenden Meeresteile zur Zonenfläche zwischen 40° und 50° abhängen.

Man kommt so zu einem Ausdruck von der Form

$$t = M + A\frac{p}{s} - B\frac{v}{u} - C\frac{z}{m},$$

in welchem M die von aller Konvektion befreite Temperatur, A, B und C Konstante sind und überdies folgende Flächenbezeichnungen platzgreifen:

p Passattrift (Äquatorialströmung).
s Zone zwischen 20° und 40°.
v Vorgürtel der Antarktis südlich von 50° S.
u die von der Isobathe von 2000 M eingeschlossene, sich von 40° S. südwärts, beziehungsweise bis 40° N. nordwärts ausdehnende Fläche.
z die Fläche polwärts von 50°, also auf der Südhalbkugel $z = v$.
m die Zone zwischen 40° und 50° (Westwindtrift).

Als Werte von s, z und m wurden zumeist die von Karstens, zum Teil (m in den Südmeeren) die von Krümmel erzielten gewählt. Als Werte von p nahm ich die aus den Flächenmessungen dieser Forscher von mir bestimmten (Geographische Analysis der ozeanischen Temperaturen am 45. Parallel; diese Sitzungsber., II a, 1920). Zur seitlichen Begrenzung des Areals des schon sehr niedrig temperierten Tiefenwassers schien die Isobathe von 2000 M gut verwendbar, da in deren Bereich die Temperatur ja größtenteils schon unter 3° liegt. Als Nordgrenze dieses Areals, beziehungsweise als Breite, in welcher kaltes Tiefenwasser durch Vertikalkonvektion aufsteigt, ergab sich der 40. Parallel, auf welchem der rückläufige Ast des subtropischen Stromkreises beginnt.

Die so für das besagte Areal zu nehmenden Werte wurden aus den Isobathenkarten der Deutschen Seewarte-Atlanten unter Rücksichtnahme auf die Breitenkreisverjüngung nach der Trapezmethode von mir bestimmt (in Quadratkilometer)

N. A.	N. P.	S. A.	S. P.
59.600	135.955	11.115	20.740

Der Wert von $\frac{v}{u}$ im Süd Atlantik wurde um $^1/_4$ vermindert, weil dort die Küstenstrecke, längs welcher ein starker Wasserauftrieb erfolgt, nicht von 40 bis 20°, sondern nur von 35 bis 20° reicht. Die so erzielten Werte der Variablen nebst den genauen Werten von t sind:

	t	$\frac{p}{s}$	$\frac{v}{u}$	$\frac{z}{m}$
Nord Atlantik	23·07	1·040	0·184	1·042
Nord Pazifik	22·68	0·696	0·131	1·033
Süd Atlantik	20·22	0·416	0·739	1·473
Süd Pazifik	19·65	0·337	0·861	1·613

Hieraus berechneten sich die Konstanten

$$M = 22\cdot742, \quad A = 1\cdot551, \quad B = 2\cdot805, \quad C = 0\cdot743$$

und ergab sich bei Kürzung auf zwanzigstel Grade die Gleichung

$$t = 22\cdot75 + 1\cdot55 \frac{p}{s} - 2\cdot80 \frac{v}{u} - 0\cdot75 \frac{z}{m}.$$

Die Gleichung besagt, daß sich die bis in das Gebiet der Stillen vordrängenden erwärmenden und abkühlenden Einflüsse im Zentrum der nordpazifischen Pleiobare ausgleichen. Eine auf einfache

thermogenetische Annahmen gestützte Rechnung bestätigt somit das durch Erwägungen gewonnene Resultat. Da nach Köppen der Überschuß der Wassertemperatur über die Luftwärme in den Tropen und Subtropen 0·2 bis 0·3 beträgt (im Nordatlantik zwischen 20° und 50°, im Mittel 0·24), kann die mittlere Jahrestemperatur der Luft am 30. Parallel im akryogenen Seeklima zu 22·5 gesetzt werden.

Zenker hat wohl ein Verfahren aufgezeigt, die Temperaturverteilung im reinen Seeklima auf Grund nur einer durch Messung gewonnenen Parallelkreistemperatur zu ermitteln, sofern die Thermik des reinen Landklimas auf Grund von Beobachtungen an zwei hochkontinentalen Stationen in verschiedenen Breiten schon bestimmt ist. Abgesehen davon, daß dieses Verfahren aber nicht ganz vorteilhaft erscheint, ist die Festlegung einer zweiten empirischen Normaltemperatur im reinen Seeklima noch nötig, weil man einer solchen bei den verschiedenen anderen Berechnungsweisen bedarf und die Anwendung mehrerer solcher Methoden zwecks gegenseitiger Kontrolle ihrer Resultate sehr geboten ist.

Als Fundort eines zweiten Normalwertes der Seeklimatemperatur kommt im Rahmen dieser Untersuchung der Äquator in Betracht, der von Zenker als solche Fundstätte gerade zu meiden war. Schwankt doch die Mitteltemperatur auf ihm in weiten Grenzen und ist es da sehr schwer, die als normal zu wertende herauszufinden, was aber nötig, weil von ihrer richtigen Wahl der Erfolg der ganzen bis zum Pole vorzutragenden Extrapolation abhängt. Im Rahmen dieser Untersuchung fällt die Wahl auf die Höchstwerte der mittleren Wasserwärme im ostindischen Archipel, da sie die durch ausklingende Fernwirkung der Antarktis am wenigsten berührten sein mögen, andrerseits aber auch nicht als durch das benachbarte Land erhöhte deutbar sind. Man kann da etwa 29° als obere Grenze des Jahresmittels annehmen. Die Luftwärme liegt da, wie Köppen und Seemann gezeigt haben, im Spätsommer und Herbst erheblich, stellenweise bis zu 3° unter der Oberflächenwärme des Wassers. Es handelt sich dabei aber um Ursachen, die in einem inselfreien Tropenozean wohl nicht in gleich hohem Maße erwüchsen. Da das Phänomen zudem auf einen kleineren Teil des Jahres beschränkt bleibt, wird man keinen zu geringen Temperaturabstrich vornehmen, wenn man 28·25 als Jahresmittel der Luftwärme am Gleicher im akryogenen Seeklima ansetzt.

Von den Bestimmungsweisen der zonalen Temperaturverteilung auf Grund zweier durch Beobachtung gewonnener Parallelkreistemperaturen sei zunächst die von Liznar[1] mitgeteilte angewandt. Sie nimmt — sich auf das Gesetz von Stefan stützend — die an der oberen Grenze der Lufthülle zugestrahlten Wärmemengen als Grundlage der Berechnung und meidet so die Unsicherheit, welche

[1] Berechnung der Mitteltemperaturen der Breitenkreise aus den an der Grenze der Atmosphäre zugestrahlten Wärmemengen. Met. Zeitschr., 1900. Jänner, p. 36.

aus der schwankenden Bestimmung der bis auf den Grund der Atmosphäre gelangenden Wärmemengen erwächst. Bei Einsatz der vorhin für $\varphi = 0$ und $\varphi = 30$ gewonnenen Temperaturen und der zugehörigen Werte der von Wiener bestimmten Relativmengen der Strahlung (30532 und 26832) in die Formel:

$$A'T^4 = J_j - C',$$

in welcher T die absolute Temperatur bedeutet, erhält man für die Konstanten die Werte:

$$A' = 60855 \times 10^{-10} \text{ und } C' = -19570$$

und sodann mittels der Gleichung:

$$T^4 = \frac{J_j + 19570}{60855} 10^{10}$$

die folgenden Temperaturen:

0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
28·25	27·6	25·7	22·5	18·1	12·5	6·1	0·5	— 2·3	— 3·2

Bei Annahme einer Äquatortemperatur von 28·0 nehmen die Konstanten die Werte

$$A' = 63378 \times 10^{-10} \text{ und } C' = -21494$$

an und ergibt sich als zonales Wärmebild:

0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
28·0	27·4	25·5	22·5	18·3	13·0	6·8	1·5	— 1·2	— 2·0

Setzt man für J_j an Stelle der Relativwerte Wiener's die von Meech bestimmten Thermaltage ein, so erhält man als Konstanten:

$$A = 72763 \times 10^{-12} \text{ und } C = -233 \cdot 76.$$

Die bei Einführung dieser Werte erzielten Temperaturen stimmen mit den obigen bis in die dritte Dezimale überein.

An zweiter Stelle kommt von den Methoden zur Bestimmung des zonalen Wärmebildes die von Zenker[1] in seiner Notiz über

[1] Über solare Temperaturen. Met. Zeitschr., 1896, Sept., p. 361.

solare Temperaturen aufgezeigte in Betracht. Auch sie stützt sich auf das Gesetz von Stefan, wählt aber die am Grunde der Lufthülle anlangenden Wärmemengen als Basis für die Berechnung. Zenker wandte diese Methode nur für die Bestimmung des reinen Landklimas an. Versucht man es, sie zur Ermittlung des reinen Seeklimas zu verwerten, so verliert die Größe t_k allerdings ganz die Bedeutung, ein Ausdruck für die »Temperatur des Weltraumes«, beziehungsweise für die »in den äußersten Atmosphärenschichten herrschende, infolge der inneren Erdwärme auf ihre Höhe gebrachte Temperatur« zu sein, eine Auffassung Zenker's, gegen die Pernter[1] ohnedies Stellung nahm.

Die Temperaturzahl $t_k = T_k - 273$ hat dann nur die Bedeutung einer Rechnungsgröße.

Setzt man die für den Gleicher und für den 30. Parallel gewonnenen Temperaturen und die zu ihnen gehörigen Strahlenmengen Y (25394 und 21706) in den Ausdruck

$$\frac{Y}{A} = T^4 - T_k^4$$

ein, in welchem T wieder die absolute Temperatur bedeutet, so erhält man als Konstantenwerte:

$$A = 60659 \times 10^{-10} \quad \text{und} \quad T_k = 252\cdot21$$

und sodann mittels der Formel

$$T^4 = \frac{Y}{60659} 10^{10} + 40466 . 10^5$$

folgende Temperaturen, denen die für eine Gleichertemperatur von 28·0 mit den Konstanten

$$A = 63173 \times 10^{-10} \quad \text{und} \quad T_k = 254\cdot41$$

erzielten sogleich angereiht seien ($T_k^4 = 41891 . 10^5$).

0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
28·25	27·6	25·7	22·5	18·1	12·6	6·3	0·6	—2·5	—3·0
28·0	27·4	25·5	22·5	18·3	13·0	7·0	1·6	—1·3	—1·8

Ein dritter Weg zur Bestimmung der Breitenkreistemperaturen wurde von Zenker in seinem großen Hauptwerke[2] gewiesen. Er

[1] Met. Zeitschr., 1896, April, Literaturbericht.

[2] Der thermische Aufbau der Klimate. Halle 1895.

folgt dem Dulong-Petit'schen Strahlungsgesetz, das aber bei Zenker nicht in seiner ursprünglichen Schreibart:

$$v = M a^{\vartheta}(a^{t}-1),$$

sondern in der der besonderen Verwendungsweise angepaßten Form

$$YC = a^{\tau}-a^{K}$$

erscheint, wobei a die von Dulong und Petit zu 1·0077 bestimmte Konstante ist (log. Brigg = 1 : 300), $\tau = \vartheta + t$ die Temperatur des erkaltenden Körpers, $K = \vartheta$ die Temperatur der Hülle bedeutet und C alle anderen konstanten Einflüsse in sich faßt. Auch hier legte Zenker die nach dem Durchgang der Sonnenstrahlen durch die Lufthülle sich ergebende solare Wärmeverteilung zugrunde. Er bestimmte die Konstanten C und K für das reine Landklima und dann unter Beibehaltung der für K gefundenen Zahl durch Einsatz der Werte von Y und τ für den konvektionsfreien 30. Parallel die Konstante C für das Seeklima.

Die dann für die übrigen Breitenkreise erzielten Werte von τ schienen ihm den ozeanischen Konvektionseinfluß voll aufzuzeigen. Die positive Konvektion ergibt sich da aber — polwärts wachsend — für die hohen Breiten als unverhältnismäßig groß. Hierin spiegeln sich die besonderen Verhältnisse der Jetztzeit wieder. Bei der Suche nach einer theoretischen Wärmeverteilung, die kein Spiegelbild der heutigen Sachlage sein soll, empfiehlt es sich daher, die vorangeführte Formel auch für das Seeklima so, wie es Zenker für das Landklima tat, zu benutzen, wobei dann freilich die Größe K auch wieder die ihr von Zenker zugedachte Bedeutung verliert. Setzt man die früher für $\varphi = 0$ und $\varphi = 30$ angenommenen Strahlungsmengen und Temperaturen für Y und τ ein, so bekommt man als Konstantenwerte:

$$C = 14544 \times 10^{-9} \quad \text{und} \quad a^{K} = 0 \cdot 87281$$

und dann mittels der Gleichung

$$1 \cdot 0077^{\tau} = 14544 \times 10^{-9}\, Y + 0 \cdot 87281$$

folgende Temperaturen:

0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
28·25	27·6	25·7	22·5	18·1	12·7	6·6	1·3	—1·5	—2·0

Bei Annahme einer Gleichertemperatur von 28·0 werden mit den Konstantenwerten

$$C = 13951 \times 10^{-9} \quad \text{und} \quad a^{K} = 0{\cdot}88568$$

nachstehende Temperaturen gewonnen:

0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
28·0	27·4	25·5	22·5	18·3	13·1	7·3	2·3	—0·4	—0·9

Als ein viertes, im Vergleiche zu den früheren wohl sehr einfaches Verfahren der Bestimmung des zonalen Wärmebildes sei noch jenes angewandt, dessen sich Zenker in seiner ersten größeren Arbeit[1] bediente: die Ableitung der Parallelkreistemperaturen aus den Strahlungsdifferenzen gegen einen von zwei Breitenkreisen, für die sich als normal zu wertende Temperaturen ermitteln lassen. Die so gewonnene Wärmeverteilung ist:

0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
28·25	27·6	25·7	22·5	18·3	13·3	7·9	3·4	1·1	0·7

Hier wurden wie bei der zweiten und dritten Methode die von Zenker in der vorgenannten Arbeit erzielten fünfstelligen Strahlungswerte benutzt. Nimmt man die von ihm später mitgeteilten vierstelligen Werte ($\varphi = 0$: 2528, $\varphi = 90$: 0761), so erhält man:

0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
28·25	27·6	25·7	22·5	18·3	13·2	7·9	3·5	1·2	0·8

Bei der Ableitung aus den Strahlungsdifferenzen erhält man sonach für die polnahen Breiten höhere Temperaturen als nach den ersten drei Methoden, die ziemlich übereinstimmende Werte ergeben. Dem von verschiedenen Forschern berechneten reinen Seeklima kann das akryogene Seeklima, soweit seine Ableitung auf anderen Gesichtspunkten fußt, nicht verglichen und nur gegenübergestellt werden. Zu diesem Zwecke mag es genügen, von einigen dieser Berechnungen die Hauptwerte anzuführen.

Die Zahlen 0·6 und 0·7 bei Precht (1894) bedeuten die angenommenen Transmissionskoeffizienten.

[1] Die Verteilung der Wärme auf der Erdoberfläche. Berlin 1888.

Autor	0	30	60	90
Precht (0·6)	26·4	18·3	0·7	— 9·0
Spitaler (1885)	22·2	16·3	2·8	— 9·5
Hann (1896, Febr.) .	26·0	18·1	—0·2	— 9·6
Precht (0·7)	26·7	18·5	0·1	—10·0
Hann (1896, Mai)...	26·0	18·1	—0·7	—10·3
Forbes (1859)......	22·1	16·6	3·0	—10·8
Liznar (1900)	25·7	19·0	—0·7	—12·2
Marchi (1895)......	22·1	17·6	0·5	—12·5
Liznar (1911)	23·9	17·3	—2·1	—13·5
Spitaler (1921)......	24·2	17·3	—1·6	—20·6

Für einen Vergleich kommen nur jene Ableitungen der ozeanischen Wärmeverteilung, welche die höchsten Werte ergaben, in Betracht.

φ	Sartorius		Akryogenes Klima		Zenker	
	Nord	Süd	I.	IV.	1888	1893
0	26·4	26·4	28·25	28·25	26·2	26·1
10	26·1	25·0	27·6	27·6	25·4	25·3
20	24·2	22·0	25·7	25·7	23·0	23·0
30	20·9	17·7	22·5	22·5	19·2	19·3
40	16·7	12·6	18·1	18·3	14·0	14·3
50	12·1	7·3	12·5	13·3	8·0	8·4
60	7·8	2·3	6·1	7·9	1·5	1·9
70	4·2	—1·7	0·5	3·4	—4·5	—3·4
80	1·9	—4·3	—2·3	1·1	—6·8	—5·9
90	1·1	—5·2	—3·2	0·7	—7·25	—6·7

In den höheren Breiten fällt der Berechnungsspielraum des akryogenen Seeklimas (I. und IV. Bestimmungsmethode) in den Zwischenraum der von Sartorius v. Waltershausen für die beiden Halbkugeln abgeleiteten Meeresklimate. Das von diesem Forscher mitgeteilte nordhemisphärische Seeklima stellt aber — da zu seiner Bestimmung die sehr hyperthermen Stationen Thorshaven

und Reykjavik mitbenutzt wurden — nicht die zonale Wärmekurve auf einer Wasserhalbkugel, sondern die im Herrschaftsbereiche einer kraftvollen, polwärts strebenden Trift dar.

Zenker hat seine Berechnungen einerseits auf die südpazifische Temperatur am 30., andrerseits auf die am 20. und 50. Parallel gestützt (zwischen 180 und 120° W L.). Wenn Zenker für letztere das Fehlen einer polaren Abkühlung im Hinblick auf den den Breitenkreisen parallelen Lauf der Isothermen annahm, so war das insoferne nicht begründet, als dort die Bedingungen für eine in breiter Front gleichmäßig vordringende Abkühlung gegeben sind. In der Tat erscheint auf der Strömungskarte des Südsommers im Deutschen Seewarte-Atlas von 175 bis 120° W L. gerade der 50. Parallel als Nordgrenze häufigeren Treibeises. Als solcher kann er doch nicht schon als ein von der antarktischen Vergletscherung thermisch unbeeinflußter gelten!

Die Gründe, welche dafür sprechen, daß in den vorgenannten Längen auch noch in 30° Südbreite thermische Fernwirkungen der Antarktis vorhanden sind, wurden früher schon angeführt und durch eine Rechnung erläutert (p. 2 u. 3). Es ist klar, daß die Tropen- und Subtropensonne mit voller Kraft auf die weit ausgedehnten Flächen des südpazifischen Ozeans strahlend, diese bis zu der dem Solarklima entsprechenden Höhe erwärmen muß. Es sind aber Anlässe gegeben, daß der so zu erreichende thermische Zustand gestört wird. Es ist dabei nicht stets an ein Aufquellen kalten Wassers an Ort und Stelle zu denken.

Der 20. und 30. Parallel liegen in den »submarinen Roßbreiten« Krümmel's, den auf der Karte der Isothermen in 400 *m* Tiefe so klar hervortretenden Zonen mit Wärmetransport nach unten; es greift aber als Fernwirkung der antarktischen Eiskappe eine Durchkühlung des gesamten Südozeans Platz, die größer ist als jene, welche beim Bestande eines kalten, offenen Polarmeeres stattfände. So möchte es scheinen, daß die Strahlungsdifferenzrechnung Zenker's eine um ein Geringes zu starke Krümmung der zonalen Wärmekurve ergab, die bei der Extrapolation bis zum Pol und Äquator entsprechend zur Geltung kam. Die für das akryogene Seeklima angesetzte Gleicherwärme bleibt noch um 1·4° unter der von Zenker für eine ganz konvektionsfreie Wärmeverteilung gefundenen. Es ist so bei jenem Wärmeansatze eine mäßige negative Konvektionswirkung auf den Äquator noch in Erwägung gezogen.

Aus der höheren Gleicherwärme und dem geringeren zonalen Temperaturgefälle ergibt sich für das akryogene Seeklima eine erheblich höhere Temperatur am Pole als für das reine Seeklima in gewohnter Auffassung. Dies ladet zu einer Überprüfung des Problems des polaren Seeklimas ein. Bei der Erörterung der Unzulänglichkeit der Temperaturformel von Forbes zu Extrapolationen für die Grenzwerte von n beschränkt sich Woeikof[1] darauf, die

[1] Klimate der Erde, I, 333.

Poltemperatur von —10·8° als an die Voraussetzung der Eisfreiheit des Pols geknüpft zu bezeichnen, wobei er sie als zu tief ablehnt, weil die Luftwärme beim Fehlen aller Landeinflüsse nicht 7° unter die Wasserwärme sinken könne. Er spricht sich aber nicht darüber aus, ob jene Voraussetzung statthaft sei.

Hann[1] sagt dagegen: »In Wirklichkeit würde ja auch auf einer reinen Wasserhemisphäre der Pol doch mehr weniger eisbedeckt sein, würden also die Formeln ihre Gültigkeit verlieren.« Und an früherer Stelle[2] heißt es: »Wenn man die Temperatur des Poles auf einer Wasserhalbkugel zu —9° bis —10° findet, so ist dies natürlich eine Fiktion, denn selbst das Seewasser kann nicht unter —3° bis —4° erkalten, ohne zu gefrieren und die Jahrestemperatur der Luft über offenem Seewasser dürfte deshalb kaum tiefer als —5° bis —6° angenommen werden können; bildet sich aber Eis, dann haben wir eine Poltemperatur wie bei Landbedeckung.« Bei dieser Festlegung des unteren Grenzwertes für das reale Seeklima am Pole kann die Temperatur von —6° aber nur als Punkt der Thermometerskala für sich und nicht als Jahresmittel gedacht sein, denn als solches ist sie ja an den Mitbestand einer um mehrere Grade tieferen Wintertemperatur geknüpft und dann selbst schon eine Fiktion. Das reale Seeklima erreicht somit seine Polargrenze dort, wo die Temperatur des kältestes Monates unter —6° hinabgeht.

Die Berechnungen des reinen Seeklimas betrafen zumeist nur die mittlere Jahrestemperatur. Die von Zenker erzielten solaren Monatstemperaturen des Seeklimas schienen ihrem Autor selbst nicht sehr vertrauenswert zu sein, da er ihre Berechnungsgrundlagen selbst als anfechtbar bezeichnete. Eine aus alter und eine aus neuester Zeit stammende Bestimmung der ozeanischen Amplituden am Pole weichen sehr voneinander ab. Der von Sartorius v. Waltershausen gefundene Wert von 10·9° ist entschieden zu hoch, der jüngst von Spitaler mitgeteilte von 3° erheischt zumindest eine Verdoppelung, da er der Strahlungsdifferenz entspricht und diese am Pole zwischen den beiden Solstitien nur so groß ist wie zwischen dem Sommersolstitium und den Nachtgleichen.

Die Wärmeschwankung ist theoretisch dem Breitensinus proportional und der von Sartorius gefundene zonale Amplitudengang entspricht auch diesem Sachverhalt. Seine Schwankungswerte schmiegen sich (mit einer Ausnahme) der Relation

$$A\varphi = A_0 + (A_{90} - A_0) \sin \varphi$$

gut an, wie folgende Zusammenstellung der nach ihr bestimmten und der ursprünglichen Werte zeigt:

---

[1] Klimatologie, III. Aufl., I, 331.

[2] Klimatologie, II. Aufl., I, 209.

0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
1·5	3·1	4·7	6·2	7·5	8·7	9·6	10·3	10·8	10·9
1·5	3·1	4·7	6·1	7·5	8·6	10·2	10·3	10·8	10·9

Hiernach würde sich, wenn man mit Zenker die ozeanische Wärmeschwankung am Gleicher zu 0·3, jene am 30. Parallel zu 4·0 ansetzt, als Schwankung am Pole 7·7 ergeben. Die mit Hilfe der von Zenker bis zum 60. Parallel bestimmten Amplitudenwerte durchgeführte Ausgleichsrechnung ergibt die Formel

$$A\varphi = 0{\cdot}468 + 6{\cdot}759 \sin \varphi,$$

aus welcher man folgende Amplituden erhält, denen die der Rechnung zugrunde gelegten beigesetzt seien:

0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
0·5	1·6	2·8	3·8	4·8	5·6	6·3	6·8	7·1	7·2
0·3	1·6	2·9	4·0	5·0	5·7	6·0	—	—	—

Für die Wärmeschwankung auf der Wasseroberfläche erhält man für das Bogenstück zwischen 110 und 160° W v. Gr. im südpazifischen Ozean aus dem Deutschen Seewarte-Atlas (Februar bis August):

20	25	30	35	40	45
2·75	3·95	4·25	4·70	5·35	5·15

Hieraus berechnet sich als theoretischer, vom wirklichen durch ein Maximum in den Subtropen gekennzeichneten Gange sehr abweichender zonaler Amplitudengang[1]

$$A\varphi = 0{\cdot}868 + 6{\cdot}569 \sin \varphi$$

mit folgenden Zehngradwerten:

0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
0·9	2·0	3·1	4·2	5·1	5·9	6·6	7·0	7·3	7·4

[1] Bei Weglassung des 45. Parallels erhält man die Formel $A\varphi = 0{\cdot}257 + 7{\cdot}946 \sin \varphi$ und somit als Schwankung am Pole 8·2.

Man erhält so als Wärmeschwankung auf einem eisfreien ozeanischen Pole für Wasser und Luft ungefähr 7·5°. Es stimmt dies gut zu der von Hann[1] gefundenen Gleichung

$$a = 2\cdot12+7\cdot01 \sin \varphi,$$

denn das konstante Glied derselben wurde mit Einbezug der Stationen Zanzibar ($a = 2\cdot9$) und Ascension ($a = 3\cdot7$, zwar rein ozeanisch, aber abnorm) erhalten und ist so gewiß größer als das für einen reinen Wasseräquator.

Bei Sartorius ist am 80. Parallel und am Pole das arithmetische Mittel der extremen Monate dem Jahresmittel genau gleich. So würde sich unter der hypothetischen Annahme, daß der Temperaturgang bei den höheren Werten des akryogenen Seeklimas dem im kühleren, aus der Thermik des Südpazifik erschlossenen Seeklima analog wäre, als Temperatur des kältesten Monates im ersteren Klima —5·75 ergeben, wenn man im Durchschnitt der berechneten Werte das Jahresmittel zu —2·0 annimmt.

Das akryogene Seeklima ist somit zugleich akryophor, d. h. wenn man aus von den Eisschmelzwässern subantarktischer Herkunft unbeeinflußten ozeanischen Temperaturen niedriger Breiten die Poltemperatur extrapoliert, gelangt man zum unteren Grenzwert des realen, d. i. eisfreien Seeklimas am Pole.

Zugunsten der hier entwickelten Auffassung spricht es, daß sie durch ein auf ganz anderem Wege und gänzlich unabhängig von dem vorigen erzieltes Forschungsergebnis gestützt wird; durch das Ergebnis einer geographischen Analyse der Jännertemperatur auf einem mittleren arktischen Parallel.

Geographische Analysis der Jännertemperatur am 75. Parallel.

Durch das Emportauchen von Land, vornehmlich im gemäßigten Gürtel, wird auf wasserbedeckten Breitenkreisen in der Polarhaube das gleichmäßige Seeklima durch einen sehr wechselvollen Temperaturzustand verdrängt. Meridional gestreckte Küsten gleicherwärts vom Polarkreise dienen den lauen Triften als Führung zu einem Vordringen über jenen Kreis hinauf. Unter ihrem Einflusse kann die Winter- und Jahrestemperatur örtlich weit über die des Seeklimas steigen. Südlich benachbartes Festland drückt sie unter das ozeanische Mittel hinab als Bringer kalter Luft und als Spender von Flußwasser, das bei höherer Temperatur gefrierend als die Salzflut, den kritischen Punkt, bei welchem das reale Seeklima in das Kontinentalklima umschlägt, emporrückt. Die morphologischen Ursachen zu positiven Wärmeanomalien auf einem wasserbedeckten

[1] Temperatur der südlichen Hemisphäre. Diese Sitzungsber., 1883.

arktischen Parallel schließen somit schon die Anlässe zu negativen Anomalien in sich. Doch wäre es kaum statthaft, einen Ausgleich der thermischen Gegensätze auf einem solchen Parallel zu erwarten und seine Durchschnittstemperatur noch als die des Seeklimas anzusehen, wie man in den gemäßigten Breiten von einer Kompensation der Wirkungen der kalten und warmen Ströme auf die ozeanische Mitteltemperatur spricht. Die Durchschnittswärme eines wasserbedeckten arktischen Parallels kann (bei teilweiser Landbedeckung der Subarktis) über und unter der Temperatur des Seeklimas liegen.

Die höchste Temperatur in Polnähe knüpft sich an möglichst reichliche Unterbrechung der subpolaren Meeresfläche durch Land bei möglichst geringer West—Ost-Erstreckung desselben, also an eine Mehrheit oder Vielheit schmaler N—S streichender Inselzüge, wie ein solcher bei geringer positiver Strandverschiebung das Uralgebirge wäre. Für keinen einzigen Abschnitt der Vorzeit kommt eine so beschaffene Verteilung des Flüssigen und Festen in Betracht. Sie kann so für den Palaeoklimatologen nicht Gegenstand der Erwägung sein. Soweit die geologische Urkunde nicht auf ein zirkumpolares Festland, sondern auf eine wasserbedeckte Arktis weist, war diese von Landmassen umstellt; doch verschmolzen diese nicht stets wie jetzt zu einem nur eine breite Lücke zeigenden Ringe; den lauen Triften taten sich manchmal mehrere Pforten zum Eintritt in das arktische Becken auf. Woeikof neigte zur Ansicht, daß ein von drei Seiten reichlich mit lauem Wasser beschicktes Nordpolarmeer, wie es Wallace für die Tertiärzeit vermutete, die Lösung des Rätsels der fossilen arktischen Floren sein könnte. Als Woeikof die von Erklärungsoptimismus gleißenden Worte schrieb:[1] »...dies im Auge behaltend, erklärt sich die reiche eozäne und miozäne Flora Grönlands, Grinnellands und Spitzbergens ganz ungezwungen«, ahnte er nicht, daß wenige Jahrzehnte später in der Antarktis, die damals selbst morphologisch noch wenig erkannt war, mesozoische und tertiäre Pflanzen gefunden würden. In seinen Darstellungen der irdischen Wärmeverteilung nimmt die Wärmebereicherung der Nordhalbkugel auf Kosten der Südhalbkugel einen breiten Raum ein. Da fiele es schwer, zugleich mit einer arktischen auch eine antarktische Miozänflora als Folgezustand einer reichlichen Wasserheizung des Polargebietes glaubhaft zu machen. Der in der Altklimakunde herrschenden Geschmacksrichtung entspräche es da, Betrachtungen über die morphogene Komponente der geologischen Polarklimate überhaupt sogleich ganz aufzugeben und in gewohnter Art von der Heranziehung hypothetischer solarklimatischer Hilfsfaktoren alles Heil zu erwarten.

Für den, der aber nicht geradewegs nach einer Erklärung der fossilen Polarfloren strebt, sondern die im Rahmen der palaeogeographischen Erkenntnisse erwägbaren morphogenen Klimaänderungen restlos aufzeigen will, kann aber der Umstand, daß es schwer fiele,

[1] Gletscher und Eiszeiten. Zeitschr. d Gesellsch. f. Erdkunde. Berlin 1881.

einen gleichzeitigen üppigen Waldwuchs in der Arktis und Antarktis rein geographisch zu begründen, kein Anlaß sein, die Frage, wie warm es am Pole beim heutigen Solarklima werden konnte, als jedes Interesses bar zu erklären.

Zur Untersuchung der Abhängigkeit der Temperaturen in einer wasserbedeckten Arktis von den geographischen Verhältnissen in ihrem Umkreise eignet sich der 75. Parallel. Er ist großenteils meerbedeckt, in thermischer Hinsicht (im Gegensatze zum 70. Parallel) unmittelbaren örtlichen Einflüssen der Nordküste des subarktischen Festlandsringes schon ziemlich entrückt und die Polarkappe so ziemlich in ihrer Mitte durchkreisend:

$$1 - \sin 75° = \sin 75 - \sin 68° 43'$$

und

$$\frac{1 + \sin 66° 30'}{2} = \sin 73° 27'.$$

Zunächst ist eine geographische Analyse der winterlichen Temperaturverhältnisse zu erstreben.

Das Maß abkühlenden Landeinflusses, bei welchem — insoweit das reine Seeklima noch real wäre — das physische Klima kontinental wird, ist für die thermische Gesamtlage entscheidend, da, sobald auf dem Meere Eisbildung erfolgt, beim Fortschreiten derselben auch die sommerliche Bestrahlung in wachsendem Maße für die Lufterwärmung verloren geht. Dann sind die örtlichen Temperaturunterschiede im Winter am größten und die Aussicht, die Abhängigkeit einer Variablen von einer anderen erkennen zu können, winkt — wenn das Abhängigkeitsverhältnis durch Einflüsse zweiter Ordnung gestört ist — um so mehr, je größer der Wertspielraum der ersteren Variablen ist.

Aus dem Kärtchen der Isothermen des Jänner um den Nordpol in Hann's Referat über das große Werk Mohn's, betreffend die Meteorologie des Nordpolarbeckens, ließen sich für den 75. Parallel die in der folgenden Tabelle unter t stehenden (auf Viertelgrade genauen) Temperaturen ablesen. Unter t_1 folgen die einst von Spitaler aus der Karte der Jännerisothermen im Atlas der Meteorologie von Hann abgeleiteten Temperaturen.

Der durch die neueren Forschungen erzielte Fortschritt ist vor allem die Erkenntnis eines Minimums über Grönland, das zum Hauptminimum wird, und die eines Maximums über der Baffinsbai an Stelle einer bloßen Sigmoide der Isothermen im älteren Bilde. Das Minimum über Ostsibirien erscheint gegenüber früher etwas abgeflacht, so daß es jetzt nur mehr ganz wenig unter dem nordamerikanischen liegt.

Durch einfachen graphischen Ausgleich, der nur in einem Falle zu einer Wertversetzung von 1° führt (sonst 0·25 bis 0·5) erhält man aus den Werten von t jene von t'.

λ	t	t_1	t_1-t	t'	$t'-T$
0	−11·0	−11·3	− 0·3	−11·0	+18·25
10 E	− 8·5	9·3	− 0·8	− 9·0	+20·25
20	−11·0	−10·6	+ 0·4	−10·0	+19·25
30	−11·5	−11·5	0·0	−11·0	+18·25
40	−13·0	−13·0	0·0	−13·0	+16·25
50	−16·0	−15·6	+ 0·4	−16·0	+13·25
60	−21·0	−23·3	− 2·3	−21·0	+ 8·25
70	−25·0	−30·2	− 5·2	−25·0	+ 4·25
80	−29·0	−33·5	− 4·5	−29·0	+ 0·25
90	−32·0	−35·3	− 3·3	−32·0	− 2·75
100	−35·0	−36·8	− 1·8	−34·5	− 5·25
110	−36·25	−38·3	− 2·0	−36·0	− 6·75
120	−37·25	−39·0	− 1·7	−37·0	− 7·75
130	−37·5	−39·5	− 2·0	−37·5	− 8·25
140	−37·0	−39·5	− 2·5	−37·0	− 7·75
150	−35·5	−38·5	− 3·0	−36·0	− 6·75
160	−34·0	−37·0	− 3·0	−34·5	− 5·25
170	−33·0	−35·5	− 2·5	−33·5	− 4·25
180	−33·0	−34·0	− 1·0	−33·0	− 3·75
170 W	−32·5	−32·5	0·0	−32·5	− 3·25
160	−33·0	−31·5	+ 1·5	−33·0	− 3·75
150	−35·0	−32·0	+ 3·0	−34·5	− 5·25
140	−35·75	−33·3	+ 2·4	−35·5	− 6·25
130	−35·75	−34·5	+ 1·2	−36·0	− 6·75
120	−36·0	−36·0	0·0	−36·5	− 7·25
110	−36·25	−36·0	+ 0·3	−36·5	− 7·25
100	−36·25	−36·0	+ 0·3	−36·0	− 6·75
90	−35·0	−36·0	− 1·0	−34·5	− 5·25
80	−32·0	−33·5	− 1·5	−32·0	− 2·75
70	−29·0	−31·7	− 2·7	−29·0	+ 0·25
60	−27·5	−29·7	− 2·2	−27·5	+ 1·75
50	−34·5	−29·3	+ 5·2	−34·5	− 5·25
40	−41·0	−28·7	+12·3	−41·0	−11·75
30	−35·0	−24·0	+11·0	−35·0	− 5·75
20	−25·5	−17·0	+ 8·5	−25·5	+ 3·75
10	−17·5	−15·0	+ 2·5	−17·5	+11·75

Die Summe der Wärmezuschläge ist da um eine Einheit größer als die der Wärmeabstriche, wodurch als Gesamtsumme der Temperaturen eine Zahl erwächst, die bei der Division durch 36 genau —29·25 ergibt, so daß die Summen der positiven und negativen Abweichungen vom Mittel — dargestellt durch in Viertelgraden ausgedrückte Werte — genau gleich sind.

Der Temperaturgang am 75. Parallel im Jänner kennzeichnet sich durch die folgenden sechs extremen Werte:

λ	10 E	130 E	170 W	120 W 110 W	60 W	40 W
$t'-T$	+20·25	—8·25	—3·25	—7·25	+1·75	—11·75

Die durch das pazifische Weltmeer bedingte Wärmeerhöhung bleibt noch unter dem Mittel und ist so noch nicht als ein Nebenmaximum und nur als eine flache Schwelle innerhalb eines breiten Wellentales erkennbar. Der Umstand aber, daß sie mit dem atlantischen Hauptmaximum auf demselben Meridiankreise liegt, ladet zu einer Darstellung der Temperaturen durch Sinusreihen ein. Eine solche läßt sich für die eurasiatische Erdhälfte mit geringen Mitteln gut durchführen, indem da ein Ausdruck von der Form

$$t = T + a \sin \alpha + b \sin^2 \beta$$

genügt. Die Elementaranalyse führt da zur Formel

$$t = -20 \cdot 75 - 11 \cdot 75 \sin (\lambda - 100) - 13 \cdot 75 \sin^2 (\lambda - 10),$$

welche die gemessenen Werte mit einem mittleren Fehler von ± 0·33 und einem größten von —1·43 wiedergibt. Rundet man die Temperaturdifferenz beider Maxima auf 24·0 ab, so daß die zweite Konstante 12·0 wird, vermindert sich der mittlere Fehler auf ± 0·28, der größte auf —1·24. Nach der Methode der kleinsten Quadrate ergeben sich als Konstanten

$$T = -20 \cdot 6996, \quad a = -12 \cdot 1214, \quad b = -13 \cdot 8008,$$

bei deren Einsatz der mittlere Fehler sich nicht weiter verringert, der größte aber auf —1·11 herabsinkt.

Die folgende Tabelle bringt die Abweichungen der durch einfache Auflösung (A) und der durch die Ausgleichsrechnung (B) erhaltenen Temperaturen von den gemessenen Werten.

In beiden Reihen bleiben die Fehler in der Hälfte der Fälle unter 0·25, in mehr als einem Drittel der Fälle unter 0·1, was bei der Darstellung durch nur zwei Sinusglieder sehr befriedigend ist.

Die Darstellung der Parallelkreistemperaturen durch trigonometrische Reihen, wie sie Fritsche in umfassendster Weise vornahm, läßt aber den thermischen Einfluß der Bedeckungsart nicht direkt erkennen, solange diese nicht selbst in geeigneter Weise durch ähnliche Formeln eine Wiedergabe fände, was dann zur Aufdeckung der bestehenden Beziehungen führen würde. Es fällt so

die Reihendarstellung, indem sie nur Interpolationsformeln schafft, deren Glieder keine morphologische Bedeutung haben, nicht in den engeren Begriff der thermogeographischen Analysis, der sich an die Einführung der Land- und Wasserbedeckung als Variable knüpft.

λ	A	B	λ	A	B
10 E	+0·25	+0·42	100 E	0·00	0·00
20	+0·65	+0·82	110	—0·18	—0·20
30	—0·08	+0·08	120	+0·01	—0·03
40	—0·80	—0·65	130	+0·44	+0·19
50	—1·24	—1·11	140	+0·46	+0·41
60	—0·10	—0·01	150	+0·38	+0·32
70	—0·06	+0·01	160	—0·08	—0·15
80	+0·21	+0·26	170	—0·14	—0·21
90	0·00	+0·02	180	+0·01	—0·05
100	0·00	0·00	170 W	—0·25	—0·32

Eine geographische Analysis der Jännertemperatur am 75. nördlichen Parallel hat davon auszugehen, daß der starken Einschnürung des subpolaren Festlandsringes oberhalb des Nordpazifik nur eine sehr geringe Kälteminderung in dem darüberliegenden Bogenstücke jenes Parallels entspricht. Dies drängt, sofern man zunächst nur den eurasiatischen Halbkreis betrachtet, zu einer Trennung des negativen Teiles der thermogeographischen Formel in zwei Glieder, in ein Kontinentalglied, welches den erkaltenden Einfluß der Landentwicklung in höheren und mittleren Breiten aufzeigt, und in ein Separationsglied, welches einen von der Breite des subpolaren Festlandsringes unabhängigen Kälteeinfluß der Scheidung des polaren Beckens von den es umgebenden Meeresflächen zum Ausdruck bringt. Der erstere Einfluß hängt von der Landentwicklung in meridionaler Richtung, der letztere von jener in longitudinaler Richtung ab, dieser wächst mit zunehmenden Abständen von der atlantischen Lücke und erreicht so gerade über der als Zufuhrweg lauen Wassers zur Arktis nicht wirksamen Beringstraße einen Höchstwert, wo die Breite des Festlandsringes ein Minimum wird.

Das erstere negative Formelglied ist als Produkt zu werten, da die erkaltende Wirkung von Festland bestimmter Breitenerstreckung mit wachsender Kontinentalität steigt, und zwar in sich verzögerndem Maße. Das letztere Glied läßt sich besser als Summe erkaltender Wirkungen, die von Teilstücken des Umkreises der Arktis ausgehen, betrachten. Man kommt so zunächst zu einem Ausdrucke von der Form

$$t = \vartheta - A\,\Sigma(\alpha_n) - B\,d^c\gamma,$$

in welchem ϑ die Höchsttemperatur, welche auf dem Meridian des betrachteten Punktes beim Mangel erkaltender Einflüsse auftreten würde, bezeichnet, γ die Südwärtserstreckung des Landes auf diesem Meridian, d den Abstand desselben vom mittleren Meridian der Westküste des Kontinents ausdrückt und α ein landbedecktes Bogenstück der Umrandung des Polargebietes ist. A und B sind konstante Faktoren.

γ ist soweit südwärts zu nehmen, als die Breitenerstreckung des Landes für die Höhe der subpolaren winterlichen Antizyklone belangreich erscheint. Es wurde da als Grenze zunächst der 35. Parallel angesetzt und später der 32. in Betracht gezogen. Für den Exponenten c der Größe d kommt zunächst der Wert $\frac{1}{2}$ in Frage. Zur Aufstellung des zweiten negativen Formelgliedes wurde die Kältewirkung eines landbedeckten Zehngradbogens des 70. Parallels (Nordrand des Festlandsringes) der Quadratwurzel seiner mittleren Entfernung von der nächsten Festlandslücke proportional gesetzt und als Gesamterkaltung die Summe der von dem vom Meridian des betrachteten Punktes halbierten Halbkreis ausgehenden Einzelwirkungen angenommen, so daß sich für den Nullmeridian (Mitte der 4 Zehngradbögen breiten atlantischen Lücke) der Wert

$$2 \times (1 + \sqrt{2} \ldots + \sqrt{7}),$$

für den gegenüberstehenden Meridian der Wert

$$2 \times (\sqrt{8} + \sqrt{9} + \ldots \sqrt{16})$$

ergibt.

Während das Kontinentalglied schon für die über einer schmalen Lücke des subpolaren Festlandsringes liegenden Punkte des 75. Parallels $= 0$ wird, sinkt das Separationsglied erst bei Ausweitung einer solchen Lücke auf den halben Kreisumfang (und Reduktion der Landumgürtung auf einen Halbring) für den im Halbierungsmeridian der Lücke gelegenen Punkt auf Null herab. Es entspricht dies dem Umstande, daß das örtliche Maximum der Jännertemperatur über der atlantischen Lücke nur ungefähr der Mittwintertemperatur im reinen Seeklima des 75. Parallels gleichkommt, obschon die Golftrift eine große örtliche Erhöhung über diese Temperatur bedingen muß.

Es möchte sinngemäßer dünken, die früher genannten Einzelwirkungen mit beiderseits vom Mittelmeridian abklingendem Gewicht einzusetzen; dann sollte aber auch die durch die Breitenerstreckung des die Arktis umgürtenden Landes bedingte Erkaltung nicht bloß durch den Wert dieser Größe im Meridian des betrachteten Punktes, sondern durch einen mit Einbezug der Verhältnisse in der beiderseitigen Nachbarschaft gewonnenen Mittelwert Ausdruck finden. Verfeinerungen solcher Art gingen aber auf Kosten der erstrebten

Einfachheit der aufzustellenden Formel. Die durch das oben genannte Verfahren bestimmten Werte von $\Sigma(\alpha_n) = S$ (Separationsglied) und die Werte von $\sqrt{d} \, . \, \gamma = K$ (Kontinentalglied), welche bei weitgehender graphischer Ausgleichung der Winkelwerte von γ erzielt wurden — wobei d und γ in Zehngradlängen gemessen sind — enthält, auf eine Dezimale gekürzt, die folgende Tabelle.

λ	S	K	t	t'	$t-t'$
10 E v. Gr.	27·1	0·0	— 8·9	— 9·0	+0·1
20	27·7	0·5	— 9·8	—10·0	+0·2
30	28·6	1·1	—11·0	—11·0	0·0
40	29·9	2·1	—12·8	—13·0	+0·2
50	31·7	4·2	—16·1	—16·0	—0·1
60	33·9	7·4	—20·8	—21·0	+0·2
70	36·6	9·8	—25·0	—25·0	0·0
80	40·5	11·4	—29·0	—29·0	0·0
90	44·5	12·4	—32·5	—32·0	—0·5
100	48·5	12·6	—35·0	—34·5	—0·5
110	52·3	12·0	—36·7	—36·0	—0·7
120	55·1	10·9	—37·2	—37·0	—0·2
130	57·3	10·0	—37·5	—37·5	0·0
140	59·0	8·7	—37·1	—37·0	—0·1
150	60·3	6·4	—35·4	—36·0	+0·6
160	61·3	4·6	—34·2	—34·5	+0·3
170	61·8	3·6	—33·4	—33·5	+0·1
180	62·0	2·9	—32·7	—33·0	+0·3
170 W	61·8	2·5	—32·3	—32·5	+0·2
160	61·3	3·5	—32·9	—33·0	+0·1

Bei dem der Formelaufstellung zugrunde gelegten Gedankengang schloß es sich aus, dem Umstand, daß die Jännertemperaturen auf dem 75. Parallel tief unter dem Gefrierpunkt des Salzwassers liegen, durch Bemessung der Werte von γ bis zu diesem Parallel Rechnung zu tragen, entsprechend der thermischen Wirkungsweise der zwischen ihm und dem Nordufer Eurasiens gelegenen eisbedeckten Meeresflächen wie Kontinentalflächen. Jene tiefen Wintertemperaturen und die durch sie bedingte Meereisbildung sind ja als Folgezustand der Landumgürtung des Polarbeckens aufzuzeigen. Bei Einsatz der aus 20 Bedingungsgleichungen erhaltenen Konstantenwerte erhielt ich als Analysenresultat die Formel

$$t = 7 \cdot 204 - 0 \cdot 595\, S - 1 \cdot 061\, K.$$

Die aus dieser Gleichung sich ergebenden Jännertemperaturen sind in der vorstehenden Tabelle angeführt und mit den beobachteten (t') verglichen.

Die Formel gibt die Beobachtungen mit einem mittlern Fehler von nur $\pm 0 \cdot 22$, einem größten von $+0 \cdot 69$ und einem Verbleib von 70% der Fehler unter $0 \cdot 25$ wieder.

Das positive Formelglied bezeichnet die höchste Erwärmung, welche am betrachteten Punkte beim Fehlen jeder Erkaltung durch benachbartes Land unter dem (dann an den Bestand eines meridional gestreckten Inselzuges von verschwindender Breite geknüpft zu denkenden) Einflusse einer lauen Trift von der Stärke der Golftrift auftreten würde. Zurzeit bedingt diese Trift im Winter in 50° Breite eine Temperaturerhöhung um 7·6°, in 60° Breite eine solche um 8·8° über die ozeanische Durchschnittstemperatur im Südpazifik. Hiernach ergäbe sich (bei sonst gleichen Umständen) bei einer dem Breitensinus entsprechenden Zunahme für den 75. Parallel eine Erhöhung um 10·0° über die Temperatur eines realen Seeklimas in dieser Breite. Eine Höchsttemperatur von 7·2 erwüchse dann aus einer Seeklimatemperatur von —2·8, einem Werte, der innerhalb des für das akryogene Seeklima des Winters am 75. Parallel in Betracht kommenden Spielraumes liegt.

Als mittlere Jahrestemperatur auf diesem Parallel erhält man nach der I. Methode, wenn für Y nach Wiener 1364, nach Meech 163·2 gesetzt wird, —1·2. Die nur für zehnte Breitengrade mitgeteilten Strahlenmengen am Grunde der Atmosphäre kann man für den 75. Parallel zunächst aus den Differenzen gegen die Strahlung an der oberen Grenze der Lufthülle in 70° und 80° interpolieren und findet dann

$$Y = 1364 - \frac{1}{2}(515+501) = 856.$$

Mit diesem Werte erhält man nach der II. Methode genau wie nach der ersten $\log T^4 = 9 \cdot 5457$ (also $t = -1 \cdot 2$), nach der III. Methode $t = -0 \cdot 35$, wogegen die Strahlungsdifferenzrechnung $+2 \cdot 0$ ergibt. Leitet man den Wert von Y für den 75. Parallel aus der Formel

$$(Y_\varphi - Y_{90}) = (Y_0 - Y_{90}) \cos^m \varphi$$

ab, für welche ich durch Ausgleichsrechnung

$$m = 3 \cdot 0812 - 1 \cdot 5690 \cos^{1/2} \varphi$$

fand,[1] so wird $Y = 852$. Bei Einsatz dieser Zahl erwachsen für t in gleicher Reihenfolge die Werte $-1 \cdot 3$, $-0 \cdot 4$ und $+1 \cdot 9$.

Für die ozeanische Jahresamplitude am 75. Parallel liefern die früher mitgeteilten Formeln die Werte 7·0 und 7·2. Die Berechnungsgrenzen der Jännertemperatur in $\varphi = 75°$ im akryogenen Seeklima sind sonach —1·6 und —4·8. Zwischen diesen liegt der aus der

[1] Zur Kenntnis der zonalen Wärmeänderung im reinen Land- und Seeklima. Diese Sitzungsber., IIa, 1919, 1. Heft.

Temperaturformel für den 75. Parallel abgeleitete Wert —2·8 ziemlich in der Mitte.

Es zeigt sich somit, daß bei der geographischen Analyse der Wintertemperatur auf einem mittleren arktischen Parallel als thermischer Ausgangspunkt, von dem ab die erwärmenden und erkaltenden Einflüsse zu rechnen sind, eine dem akryogenen Seeklima entsprechende Temperatur zum Vorschein kommt.

Dies scheint die Ableitung dieses Klimas als einer geeigneten Grundlage für palaeoklimatische Untersuchungen zu rechtfertigen.

Das seitliche Abklingen des durch eine laue Trift veranlaßten Wärmeüberschusses über die Temperatur im reinen Seeklima kommt nicht in der Minderung eines variablen positiven Gliedes zum Ausdruck; es erscheint in der Formel durch ein rascheres Wachstum des Separationsgliedes ersetzt, jedoch nur so lange, als der Trifteinfluß durch relativ schmale Lücken in einem subarktischen Festlandsringe erfolgt, ein Sachverhalt, der allerdings auch in der Vorzeit oft bestanden zu haben scheint. Bei meiner vor 12 Jahren angestellten Betrachtung[1] über die thermischen Vorzeitprobleme der Arktis wurde das seitliche Abklingen der Wärmewirkung der Golftrift durch empirische Formeln dargestellt, der erkaltende Landeinfluß aber als konstante Größe betrachtet.

In der Westhälfte des 75. Breitenkreises findet die geographische Temperaturanalyse noch zwei Probleme vor, den thermischen Einfluß der lauen nordpazifischen Trift und den thermischen Einfluß Grönlands. Obschon die Beringstraße klimatisch als Unterbrechung des subarktischen Landringes nicht wirksam wird, zeigen sich in den amerikanischen Längen doch nicht jene tiefen Kältegrade, welche den Quadratwurzeln ihrer über Ost gemessenen Abstände von der Westküste Norwegens entsprächen. Es ist dies die Folge der durch die Kordilleren allerdings geschwächten Wärmewirkung der genannten lauen Trift auf das nordamerikanische Festland. Die aus ihr erwachsende Verringerung des erkaltenden Einflusses dieses Landes im Winter auf den 75. Parallel läßt sich durch eine sprunghafte Minderung des Kontinentalitätsfaktors d auf die Hälfte seines Wertes darstellen. Soweit die Jännertemperaturen auf jenem Parallel durch die im Kontinentalglied vereinten Einflüsse bedingt sind, erscheinen sie so, als würden sie sich auf Meridianen entwickeln, die von der Westküste Norwegens nur halb so weit ostwärts lägen. Durch Ausprobung ergab es sich als das passendste, in 130° W, wo d, fortlaufend von 10° E ab gezählt, den Wert 22 erreicht, die Zählung mit 12 neu zu beginnen. Es entspricht dies einer Rückversetzung auf den Meridian von Jakutzk. Man erhält dann — für

[1] Klimatogenetische Betrachtungen zu W. D. Matthew's Hypothetical outlines of the continents in tertiary times. Verhandl. d. Geol. Reichsanstalt. 1910, Nr. 12.

$\lambda = 150$ und 140 die frühere Zählung noch beibehaltend — wenn die Werte von γ wiederum eine genügende graphische Ausgleichung erfahren, für die Jännertemperaturen ober dem nearktischen Archipel folgende Reihe:

λ	S	K	t	t'	$t-t'$
150 W	60·3	5·4	—34·4	—34·5	+0·1
140	59·0	6·9	—35·2	—35·5	+0·3
130	57·3	7·6	—35·0	—36·0	+1·0
120	55·1	10·8	—36·7	—36·5	—0·2
110	52·3	12·3	—37·0	—36·5	—0·5
100	48·5	13·6	—36·0	—36·0	0·0
90	44·5	14·4	—34·5	—34·5	0·0
80	40·5	14·4	—32·2	—32·0	—0·2
70	36·6	12·7	—28·1	—29·0	+0·9

Die Durchquerung Grönlands durch den 75. Parallel erheischt die Hinzufügung eines dritten negativen Formelgliedes, welches die erkaltende Wirkung von polwärts gelegenem Land aufzeigt (Spitzbergen und Franz Josephs-Land geben bei ihrer geringen Ausdehnung zu solcher Berücksichtigung noch keinen Anlaß).

Werden für die grönländischen Meridiane in der bisherigen Art das Separations- und Kontinentalglied bestimmt, so ergeben sich als Erkaltung polarer Herkunft die im folgenden unter τ' stehenden Werte. Um sie darzustellen, kann man wieder — wie bei der Analyse der aus dem Süden gebrachten Erkaltung — das Produkt aus der Erstreckung des Landes im Meridian des betrachteten Punktes γ' (ausgeglichene Werte) in eine vom Küstenabstande desselben abhängige Größe nehmen. Als solche wurde bei dem annähernd symmetrischen Bau des grönländischen Kälteherdes die Summe der beiderseits des betrachteten Punktes bis zu einem Abstand von 20° gegebenen Landbedeckungen (b) eingesetzt und mit dem Exponenten $^1/_2$ versehen. Die so aus fünf Bedingungsgleichungen erhaltene Formel

$$\tau = -1 \cdot 633\, p,$$

in welcher $p = \sqrt{b.\gamma'}$, liefert dann folgende Werte:

	λ				
	60	50	40	30	20
τ	12·4	17·8	24·8	21·2	14·4
τ'	12·2	17·2	25·0	21·7	14·2

Für die Jännertemperaturen am 75. Parallel in den Meridianen von Grönland ergibt sich dann folgendes Bild:

λ	S	K	p	t	t'	t—t'
60 W	33·9	2·2	7·6	—27·6	—27·5	—0·1
50	31·7	5·4	10·9	—35·5	—34·5	—1·0
40	29·9	5·0	15·2	—40·8	—41·0	+0·2
30	28·6	3·3	13·0	—34·5	—35·0	+0·5
20	27·7	1·9	8·8	—25·7	—25·5	—0·2

Die Berechtigung dazu, auch die Temperaturen des Jänner auf einem Grönland querenden Parallel als Funktion der Landbedeckung darzustellen, leitet sich davon her, daß sich auf Mohn's Karte die Isothermen dieses Monats in geradezu auffälligem Maße der grönländischen Küste anschmiegen, ja sogar das Gebiet der Erkaltung unter —40° von jenem um den Nordpol getrennt erscheint. Man wird diese angesichts des Umstandes, daß im Winter die Meeresflächen rings um die Nordhälfte Grönlands weithin wie Kontinentalflächen wirken, seltsame Sachlage dahin deuten, daß hier die gewohnte Reduktion der Temperaturen auf den Meeresspiegel — ähnlich wie bei der armenischen Kälteinsel — den thermischen Einfluß der Seehöhe noch nicht ganz zum Verschwinden bringt.

Es ginge wohl nicht, zur Darstellung reduzierter Temperaturen ein Formelglied mit der Vertikalkomponente des thermischen Klimas als Variablen einzuführen. Bei der Vergleichbarkeit Grönlands mit einem flach gewölbten elliptischen Schilde trifft es aber ungefähr zu, daß die Längsachse über die Rückenfläche hinzieht und so eine Gleichung, welche die in jener Achse gelegenen Punkte als die kältesten aufzeigt, gleichsam auch den Einfluß der Seehöhe mit zum Ausdruck bringt.

Palaeoklimatologische Anwendungen.

Entsprechend ihrer Ableitungsart ist die vorhin erhaltene Wärmeformel dazu verwendbar, die Wintertemperaturen in einer wasserbedeckten Arktis bei verschiedenen Land- und Meerverteilungen im subpolaren Gürtel unter der Annahme zu beurteilen, daß stattfindende Wärmezufuhren der durch die Golftrift bedingten analog wären. Zunächst lohnt es sich, die Wärmeverteilung für ein Erdbild zu berechnen, das einen gleich dem heutigen breitgestreckten, aber an mehreren Stellen unterbrochenen subarktischen Festlandsring aufweist. Bei dem Bestande eines solchen erführe die aus der Abgliederung des Polarbeckens erwachsende Erkaltung eine mäßige Abnahme, die durch die meridionale Landentwicklung mitbedingte eine stärkere Einbuße, da auf in W—O-Richtung verkürzten Kontinenten die Kontinentalität eine geringere wäre.

Als Kartengrundlage für die palaeothermale Synthese eignet sich da die von Matthew entworfene Umrißzeichnung der Festländer im Mitteleozän, die — im Gegensatz zu den Darstellungen anderer Palaeogeographen, die für jene Zeit auch nur eine Verbindung des Polarbeckens mit dem Weltmeer annehmen — drei klimatisch wirksame Unterbrechungen der Landumgürtung jenes Beckens ausweist. Eine vierte, der Davisstraße entsprechende Lücke in dieser Umgürtung hätte wohl — obschon sie auf Matthew's Karte eine offene Verbindung mit der Arktis schafft — als Zufuhrstraße lauen Wassers nur wenig Bedeutung erlangt. Sie blieb darum bei der Bestimmung des Separationsgliedes außer Betracht und wurde nur durch Neubeginn der Zählung von d, für das sich für die Jetztzeit in 60° W der Wert 19 ergab, in Rechnung gestellt.

Der besagte Kartenentwurf ist deshalb mehr als andere Entwürfe, die auch ein sich mit drei Toren öffnendes Polarbecken zeigen (Diener, Skythische Stufe; Kossmat, Neokom, u. a.), geeignet, als Grundlage für eine palaeoklimatologische Anwendung der erzielten Formel zu dienen, weil sich auf ihn das konstante Glied dieser Formel besser übertragen läßt. Der thermische Einfluß der atlantischen Lücke kann dem heutigen analog gesetzt werden, da die Umrißlinien des Atlantischen Ozeans, die für diesen Einfluß maßgebend sind, auf Matthew's Karte den heutigen gleichen. Betreffs des indischen Stromes kam ich in meiner Arbeit von 1910 auf Grund einer angestellten Erwägung zur Annahme, daß er eine wenigstens ebenso kräftige Wärmequelle wie der Golfstrom sein konnte. Die pazifische Lücke hätte auch einen ihrer Breite entsprechenden erwärmenden Einfluß ausüben können, da ja der zum Durchtritt durch sie in Betracht gekommene Teil der nordpazifischen Trift — weil von SO herankommend — mit dem rückläufigen kalten Strom nicht, wie jetzt der Golf mit dem Labrador, unter rechtem Winkel zusammenstieß.

Auch der Umstand, daß bei der geplanten Temperatursynthese das dritte negative Formelglied nur mit seinen heutigen Werten einzutreten braucht, ist günstig, weil dasselbe — den Besonderheiten der Nordhälfte Grönlands angepaßt — zur Darstellung des erkaltenden Einflusses von anders gestaltetem, über den 75. Parallel hinaufreichendem Land nicht gut geeignet scheint.

Die folgende Tabelle bringt das Resultat der Temperatursynthese für die in Rede stehende Rekonstruktion. S und K haben dieselbe Bedeutung wie früher, für $\lambda = 60$—20° W kommen als Variable noch die früher angeführten Werte von p hinzu. t_c ist — im Rahmen der Anwendbarkeit der erzielten Formel — die der besagten Rekonstruktion entsprechende (morphogene) Jännertemperatur am 75. Parallel. $t_c - t'$ ist die durchaus positive Differenz gegen die Jetztzeittemperatur (ausgeglichene Werte nach Mohn), die hier nochmals anzuführen erspart wurde. a ist die Abweichung der t_c vom Mittelwert, welcher sich zu $-13 \cdot 45$ bestimmt. Für t_c auf $\lambda = 10$ W wurde ein ausgeglichener Wert eingesetzt.

λ	S	K	t_c	$t_c - t'$	a	
0	19·3	0	− 4·3	+ 6·7	+ 9·2	Ostgrönlandmeer
10 E	18·1	1·6	− 5·2	+ 3·8	+ 8·3	
20	17·4	2·8	− 6·1	+ 3·9	+ 7·4	Palaearktis (Nordeuropa)
30	17·1	3·1	− 6·3	+ 4·7	+ 7·2	
40	17·4	2·8	− 6·1	+ 6·9	+ 7·4	
50	17·9	4·5	− 8·2	+ 7·8	+ 5·3	
60	18·4	0	− 3·8	+17·2	+ 9·7	Obisches Meer
70	19·2	0	− 4·2	+20·8	+ 9·3	
80	20·6	3·1	− 7·5	+21·5	+ 6·0	Angaraland (Nordasien)
90	21·6	5·4	−11·3	+20·7	+ 2·2	
100	21·6	7·3	−13·4	+21·1	+ 0·1	
110	20·6	8·4	−13·2	+22·8	+ 0·3	
120	20·2	7·8	−13·1	+23·9	+ 0·4	
130	20·2	5·1	−10·3	+27·2	+ 3·2	
140	20·9	4·0	− 9·5	+27·5	+ 4·0	
150	22·9	3·1	− 9·7	+26·3	+ 3·8	
160	25·1	2·4	−10·3	+24·2	+ 3·2	
170	27·6	2·8	−12·2	+21·3	+ 1·3	
180	29·2	1·0	−11·3	+21·7	+ 2·2	
170 W	30·5	0	−10·9	+21·6	+ 2·6	Beringsstraße
160	31·2	0	−11·4	+21·6	+ 2·1	
150	31·4	0·8	−12·3	+22·2	+ 1·2	Nearktis (Nordamerika)
140	31·2	1·6	−13·0	+22·5	+ 0·5	
130	30·7	2·4	−13·6	+22·4	− 0·1	
120	30·1	4·6	−15·6	+20·9	− 2·1	
110	29·4	8·3	−19·0	+17·5	− 5·5	
100	27·9	8·8	−18·8	+17·2	− 5·3	
90	26·9	8·7	−18·1	+16·4	− 4·6	
80	26·9	9·3	−18·7	+13·3	− 5·2	
70	27·9	8·7	−18·6	+10·4	− 5·1	Baffinsbai
60	28·4	0·5	−22·6	+ 4·9	− 9·1	
50	28·4	1·7	−28·3	+ 6·2	−14·8	Grönland
40	27·6	1·9	−36·1	+ 4·9	−22·6	
30	25·6	1·4	−30·8	+ 4·2	−17·3	
20	23·4	0·9	−22·1	+ 3·4	− 8·6	
10	21·0	0	− 8·9	+ 8·6	+ 4·6	

Der Höchstbetrag winterlicher Wärmesteigerung, welcher den Schnittpunkten des 75. Parallels mit den Meridianen Ostsibiriens aus der Zerschneidung Eurasiens durch eine breite Wasserstraße (Obisches Meer) erwüchse, stellt sich auf 27°. Der Wärmezuwachs über der atlantischen Lücke wäre aber nur 5°. Da auch die Temperaturen in Grönland bei Matthew's Erdbild nur um ebensoviel über den heutigen stünden, hebt sich das vom Nullmeridian halbierte Umfangdrittel mit einer durchschnittlichen Temperaturzunahme von 5·5 von den zwei anderen Dritteln mit einer mittleren Zunahme von 20·9 scharf ab. Für das Bogenstück von 120 E bis 120 W ergibt sich eine Zunahme von 23·5. Diese Umstände müßte man bei Annahme einer Polverschiebung gegen das Beringsmeer hin bedenken. Durch einen Verschub, dem eine zonale Wärmeänderung von 9° entspräche, würden auf der atlantischen und pazifischen Seite erst gleiche Wärmeunterschiede gegen die Jetztzeit erklärt (noch keine größeren auf ersterer Seite).

Von Kartenentwürfen für Abschnitte der mesozoischen Zeit wurde Uhlig's Weltkarte des Malm zu einer palaeoklimatologischen Anwendung der gewonnenen Formel benutzt. Sie zeigt auch vier Lücken im subarktischen Festlandsring, von denen aber — rein geographisch betrachtet — nur zwei, die alaskische und russische Lücke, als Zufahrtswege lauen Wassers in Betracht kämen, die anderen zwei, die Shetland- und die Janastraße, aber nur zur Rückleitung polarer Wässer dienen könnten. Längs der Westküste der Nordatlantis des Oberjura hätte ein bedeutender Teil der pazifischen Westtrift seinen Weg in das Polarmeer gefunden, wobei für diese Trift die Janastraße eine ähnliche Bedeutung gehabt hätte wie die Davisstraße für die Golftrift. Bei dem Versuche, die Bedeutung des Russischen Meeres für die Thermik des oberjurassischen Nordpolarbeckens rein ozeanologisch zu erwägen, kann man davon ausgehen, daß die Thetis von einer W—O-Trift durchflossen sein mußte, die — soweit sie nicht an der Westküste Angariens gegen SO abbog — unter dem Einfluß einer ständigen Winterzyklone über dem Wolgabecken polwärts abgelenkt wurde.

Es fällt aber schwer, Quellen des Ersatzes für dieses nordwärts entführte Wasser zu finden. Zur Speisung der Trift eines zentralen Mittelmeeres von den indischen Gewässern her wären die Bedingungen viel weniger günstig gewesen als im vorbetrachteten Fall. Es fehlte aber auch im Westen ganz an Platz zur Entwicklung einer Passattrift, die an der Vorderseite eines subtropischen Hochs sich umwendend, in die Thetistrift einbiegen konnte. Aber auch die Annahme, daß der rückläufige Ast der pazifischen Westtrift zum Ersatze herangeführt wurde, ist kaum zu machen, da der nordatlantische Kontinent zu weit äquatorwärts vorspringt, als daß sich — selbst im Nordwinter — um seine Südküste herum noch eine kraftvolle W—O-Strömung entwickeln könnte. So möchte es scheinen, daß dem Nordpolarbecken im Oberjura auf dem Wege des Russischen Meeres überhaupt keine reichliche Wasserzufuhr

zuteil wurde. Konnte doch auch durch die enge Shetlandstraße nur wenig Wasser aus dem ober Skandinavien gelegenen Teile des Polarbeckens zurückfließen.

Das Gesagte gilt aber nur für das den Ideenkreisen Neumayr's und Uhlig's u. a. angepaßte Kartenbild. Nimmt man, wie dies Diener schon für die Trias tut, auch für den Jura den Bestand eines tropischen Atlantischen Ozeans an, so hätte die Passattrift desselben selbst beim Fehlen der mittelamerikanischen Schranke nicht ganz in die Südsee übertreten müssen und sich zum Teil an der Vorderseite eines subtropischen Antizyklons nach NO wenden können. Sofern dann die in die Südsee entführten Wässer durch aus den indischen und äthiopischen Meeren aspirierte Ersatz fanden, konnte durch das Russische Meer eine der Golftrift an Stärke vergleichbare Strömung in das Polarmeer gelangen.

Die thermische Wirkung der fast ganz dem Rückstrom polarer Wässer dienenden Lücken im Festlandsring wurde durch Neubeginn der Zählung von d mit der Hälfte des schon erreichten Wertes darzustellen versucht. So wurde der Kontinentalitätsfaktor, am Ostrande des Westangaralandes (Janastraße) den Wert $\sqrt{8}$ erreichend, durch Ostangarien von 2 ab weitergezählt. Den erkaltenden Einfluß des in den grönländischen Meridianen über den 75. Parallel hinaufreichenden Teiles der jurassischen Nearktis glaubte ich als geringer einschätzen zu sollen als den des tertiären und heutigen Grönlands und nahm die für letzteres gefundenen Werte (auf 12, 18 und 24 abgerundet) mit dem Exponenten $^2/_3$ versehen (bei Westverschiebung um 10°).

Das so gewonnene Wärmebild weicht von dem früher erhaltenen sehr ab. Während man für die eozäne Karte außerhalb des europäischen Kreisviertels durchwegs Temperaturen unter dem Gefrierpunkt bewegten Meerwassers erhält (wobei deren aber doch hoher Stand über den kontinentalen Wintertemperaturen des nicht realen Seeklimas durch die Nachbarschaft offener Meeresflächen in den peripheren Teilen der Arktis zu erklären ist), ergeben sich für Uhlig's Jurakarte in $\varphi = 75$ N Lufttemperaturen, bei denen abzüglich eines beschränkten Gebietes ober Sibirien bei vorwiegender Wasserbedeckung der südlichen Nachbarschaft ein Offenbleiben des Meeres im Winter möglich wäre. Am wärmsten Meridian wird fast der Gefrierpunkt des Süßwassers erreicht. Als Mitteltemperatur erhält man —7·55. Während sich im eozänen Bilde eine Verkürzung des heutigen Abstandes der mittleren Parallelkreistemperatur vom Nullpunkt (—29·25) auf die Hälfte zeigt, schrumpft dieser Abstand für den Oberjura auf ein Viertel ein. Inwieweit die nach Abzug des morphogenen Wärmeunterschiedes gegen die Jetztzeit noch verbleibende allogene Temperaturdifferenz als eine biologisch bedingte oder als eine solarklimatische zu deuten sei, fällt nicht in den Rahmen dieser Betrachtung. Daß sich die durch die pazifische Westtrift bedingte Erwärmung zur Linken der breiten alaskischen

Lücke am meisten zeigt, entspricht einer tiefen Winterzyklone im Nordpazifik, durch die jene Trift gegen NW abgelenkt würde, um dann an der Ostküste Angariens rückläufig zu werden.

Von den in den tieferen Lagen durch *Ginkgo digitata*, in den höheren durch *Elatides curvifolia* gekennzeichneten und auf ein ähnliches Klima weisenden arktischen Portlandschichten liegen die auf Spitzbergen und die auf der Kesselinsel (Neu-Sibirien) nahe dem 75. Parallel. Für diesen gibt die Tabelle im Mittel aus 10 und 20° E —5·6, im Mittel aus 140 und 150° E —5·3. Dies spricht gegen eine Polverschiebung, denn bei einer solchen könnte sich für die genannten Inselgruppen, da diese um ein Drittel des Erdumfanges getrennt sind, die allogene Temperaturdifferenz nicht als gleich groß ergeben. Es stimmt das zu einem Befunde in den mittleren Breiten. Nachdem die durch Burckhardt angeregte Bewegung gegen Neumayr's Klimazonen wieder abgeflaut war, meinte Uhlig, »daß wir den Unterschied zwischen der borealen und der äquatorialen Fauna des Oberjura tatsächlich klimatischen Einflüssen zuzuschreiben haben«.[1] (Nur Neumayr's gemäßigter Gürtel wurde auf Uhlig's Karte als neritische Randzone eingeführt.)

Die Südgrenze des borealen Reiches zeigt nun Breitenunterschiede, die sich natürlicher durch geographisch als durch solarklimatisch bedingte Temperaturdifferenzen erklären. Der niedrige Stand dieser Grenze an der Westküste der Nordatlantis fällt in den Bereich der kühlen rückläufigen pazifischen Westtrift (Analogon zum kalifornischen Strome), ihr mittlerer Stand an der Ostküste des West-Angaralandes entspricht einer Mischung erkaltender und erwärmender Einflüsse (Analoga des Oyaschio und Kuroschio); im südrussischen Meere, wo die besagte Grenze polwärts zurückweicht, ist eine in breiter Front aufsteigende laue Strömung anzunehmen. Die vorhin erzielten Rechnungsergebnisse regen noch zu folgender Betrachtung an.

Oberhalb schmaler, aber bis in ein Polarmeer vorspringender Festländer, die lauen Triften als Führung in dieses Meer dienen könnten, möchte sich im Höchstfalle eine Wintertemperatur von etwa 6° entwickeln, da eine südlich benachbarte Landzunge den (für 75° gefundenen) ozeanischen Grenzwert von 7·2 etwas herabdrücken müßte, und eine Amplitude von etwa 8 bis 9° einstellen, da jene Landzunge die ozeanische Amplitude von 7° etwas erhöhen würde. Es wäre das die auf Inseln und an Küsten im südlichen Westtriftgürtel gegebene thermische Sachlage. Bei dieser würden sich auch die hydrometeorischen Verhältnisse dieses Gürtels und des subpolaren Zyklonengebietes bis über den Polarkreis hinauf erstrecken. Man hätte dann jenes Klima, das bei Bietung der Wachstumsmöglichkeit für eine Pflanzenwelt von tropischer Üppigkeit

---

[1] Die marinen Reiche des Jura und der Unterkreide. Mitteilungen der Geolog. Gesellschaft in Wien. III, 1911, p. 442.

λ	S	K	t_m	$t_m - t'$	a	
0	16·5	1·3	— 3·9	+ 7·1	+ 3·7	Shetland-Straße
10 E	16·2	2·8	— 5·3	+ 3·7	+ 2·3	
20	15·4	3·9	— 5·9	+ 4·1	+ 1·7	Skandinavien und Finnland
30	14·4	4·5	— 5·8	+ 5·2	+ 1·8	
40	12·7	2·0	— 2·4	+10·6	+ 5·2	
50	13·3	0	— 0·7	+15·3	+ 6·9	Russisches Meer
60	13·7	0	— 0·9	+20·1	+ 6·7	
70	15·4	2·3	— 4·4	+20·6	+ 3·2	Westangaraland (Westsibirien und Zentralasien)
80	17·2	4·2	— 7·5	+21·5	+ 0·1	
90	17·6	6·1	— 9·7	+22·3	— 2·1	
100	18·6	8·0	—12·3	+22·2	— 4·7	
110	18·6	7·8	—12·1	+23·9	— 4·5	
120	17·6	7·4	—11·0	+26·0	— 3·4	
130	16·6	6·1	— 9·1	+28·4	— 1·5	Jana-Straße
140	16·6	1·6	— 4·4	+32·6	+ 3·2	Ostangaraland (Östlichstes Asien)
150	16·6	3·4	— 6·2	+29·8	+ 1·4	
160	16·6	3·7	— 6·6	+27·9	+ 1·0	
170	16·6	1·9	— 4·6	+28·9	+ 3·0	
180	16·6	0·9	— 3·6	+29·4	+ 4·0	
170 W	16·9	0	— 2·8	+29·7	+ 4·8	
160	17·7	0	— 3·3	+29·7	+ 4·3	Bering-Meer
150	18·7	0	— 3·9	+30·6	+ 3·7	
140	20·4	0	— 4·9	+30·6	+ 2·7	
130	20·8	0	— 5·2	+30·8	+ 2·4	
120	20·4	0	— 4·9	+31·6	+ 2·7	Nordatlantis (Östliches Nordamerika, Grönland und nördlichster Atlantischer Ozean)
110	18·7	1·7	— 5·7	+30·8	+ 1·9	
100	16·9	5·1	— 8·3	+27·7	— 0·7	
90	15·5	6·4	— 8·8	+25·7	— 1·2	
80	14·5	7·8	— 9·7	+22·3	— 2·1	
70	14·5	8·9	—16·2	+12·8	— 8·6	
60	15·5	8·6	—18·0	+ 9·5	—10·4	
50	16·5	7·9	—19·3	+15·2	—11·7	
40	16·5	7·1	—17·0	+24·0	— 9·4	
30	16·5	6·9	—15·2	+19·8	— 7·6	
20	16·5	4·1	— 7·0	+18·5	+ 0·6	
10	16·5	2·7	— 5·4	+12·1	+ 2·2	

(Darwin verglich diesbezüglich Chiloe mit Brasilien) und teilweise tropenähnlicher Tracht (Baumfarne, Bambusen, Epiphyten, Lianen) dem Gedeihen von Gletschern günstig ist. Mit der Auffassung der palaeo- und älteren mesozoischen Polarfloren als Zeugen eines Klimas, das den Bestand von Gletschern im Innern gebirgiger Inseln nicht ausschlösse, würden die geologischen Probleme der Arktis etwas von ihrer Rätselhaftigkeit einbüßen. Das milde Polarklima früherer Zeiten erschiene dann als dasselbe Klima wie jenes, welches für die Randgebiete der palaeozoischen Gletschergebiete erwägbar ist.[1]

Das ozeanische Klima der mittleren Breiten wäre so zeitweise bis über den Polarkreis hinaufgerückt, zeitweise bis über den Wendekreis vorgedrungen, aus den hohen Breiten durch sehr kaltes Klima verdrängt.

An den Rändern der palaeozoischen Eisherde konnten sich beim Bestande hoher Küstengebirge bis ans Meer reichende Gletscher entwickeln. Für Polargebiete der Vorzeit mit mildem ozeanischem Klima wären Inselgebirge von geringerer Höhe erwägbar, in deren Mulden Gletscher entstanden, die nur bis in die Täler gelangten, denn bis ans Meer vorstoßende Gletscher hätten ja das akryogene Seeklima vernichtet.

Das Klima, in welchem die Pflanzen der Atane- und Patootschichten und die Tertiärpflanzen der Arktis gediehen, ließe sich aus dem vorigen durch größere Landentwicklung ableiten, da jene Pflanzen zu ihrem Wachstum eine höhere Sommerwärme als 15° erheischten, aber auch eine niedrigere Wintertemperatur als 6° ertrugen.

Gletscher hätten in einem solchen Klima nicht bestehen können und sich auf die Gebirgshöhen beschränkt. Dagegen wären winterliche Schneefälle möglich gewesen und außer den Magnolien und Tulpenbäumen hätten wohl auch die Dicksonien solche ertragen, da nach Gregory *Dicksonia antarctica* auf den Snowy Plains Victorias manchmal 4 bis 5 Monate lang von Schnee umhüllt bleibt.

Die subpolare Landbedeckung müßte aber um vieles geringer sein als sie sich auf den meisten palaeogeographischen Kartenentwürfen zeigt. Die wenigsten dieser Entwürfe, unter ihnen Neumayr's Jurakarte, lassen eine solche Vorherrschaft des Meeres im subpolaren Gürtel erkennen, wie sie ein mildes, ozeanisches Klima an meistbegünstigten Stellen des Polargebietes als Vorbedingung verlangt.

Zwischen den zwei Hauptproblemen der Altklimakunde, dem milden Polar- und kühlen Tropenklima, zeigt sich so eine Analogie.

---

[1] Siehe meine Arbeit: Untersuchungen über die morphogene Klimakomponente der permischen Eiszeit Indiens. Diese Sitzungsber., 1917, 2. u. 3. Heft.

Beide[1] lassen sich im Gegensatz zu wiederholt geäußerten, meist nur kritiklos nachgesprochenen, aber nie bewiesenen Ansichten als Wirkungen extrem günstiger geographischer Bedingungen aufzeigen; für beide gilt aber, daß — soweit es sich um bestimmte Fälle handelt — jene extremen Bedingungen nicht erfüllt gewesen zu sein scheinen.

So möchte sich für diese Fälle eine Heranziehung hypothetischer Klimafaktoren als nötig erweisen, sofern nicht an den Linienziehungen der Palaeogeographen noch eine wesentliche Änderung in Erwägung kommen kann.

---

[1] Das letztere Problem ist in meiner Arbeit: »Klimatologische Prüfung der Beweiskraft geologischer Zeugen für tropische Vereisungen« rechnerisch untersucht. Diese Sitzungsber., 1918, 8. u. 9. Heft.